

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технической механики и оборудования ЦБП

Н.В. Куцубина
И.В. Перескоков

РАСЧЕТ ПРЕССОВОЙ ЧАСТИ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Методические указания к курсовому проектированию и самостоятельной работе по дисциплинам: «Теория и конструкция технологических машин и оборудования», «Проектирование и модернизация машин и оборудования целлюлозно-бумажных производств», «Процессы, технология и оборудование целлюлозно-бумажных производств» для студентов очной и заочной форм обучения направлений 15.03.02; 15.04.02

Екатеринбург
2016

Рекомендовано к опубликованию кафедрой технической механики и оборудования ЦБП, протокол № 5 от 27.01.2016 г.

Рецензент профессор, д-р техн. наук А.А. Санников

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	2
1 Технологический расчет.....	2
1.1 Исходные данные для расчета.....	3
1.2 Расчетные формулы.....	6
1.3 Пример расчета.....	7
2 Конструктивные расчеты.....	9
2.1 Расчет отсасывающего вала.....	9
2.2 Расчет гранитного вала.....	12
Литература.....	18

В авторской редакции

Подписано в печать		Поз.
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж экз.
Заказ №	Печ. л.	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

1. ВВЕДЕНИЕ

Прессовая часть необходима для дальнейшего удаления из бумажного полотна воды, которая уже не может быть удалена в сеточной части при помощи отсасывающих ящиков и гауч-вала. После прессовой части достигается сухость бумажного полотна 42-45%.

Основными элементами прессовой части являются валы: отсасывающие, гранитные, с регулируемым прогибом.

В настоящих методических указаниях приведены методики технологического расчета прессовой части и конструктивного расчета отсасывающего и гранитного валов.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Время прохождения полотна через зону контакта прессовых валов делится на четыре периода или фазы (рис.1). В первой фазе полотно проходит на сукне путь от места соприкосновения сукна с нижним валом до входа в зону контакта валов. На этом участке сухость бумаги снижается из-за насыщения ее влагой, поступающей из зоны контакта. При входе в зону контакта валов (фаза вторая) бумага и сукно сжимаются. При достижении бумагой точки насыщения водой создаются гидравлические силы и под действием градиента гидравлического давления между бумагой и сукном вода перемещается от бумаги к сукну. Во второй фазе сухость бумаги возрастает. На выходной стороне зоны контакта прессовых валов (фаза третья) давление в сукне и бумаге постепенно уменьшается. Происходит упругое восстановление толщины бумаги, сукна и упругой облицовки вала. При выходе из зоны давления градиент гидравлического давления падает до нуля, происходит перемещение влаги из сукна в бумагу. Сухость бумаги уменьшается. В четвертой фазе сухость бумаги также снижается из-за перераспределения влаги между сукном и бумагой [1].

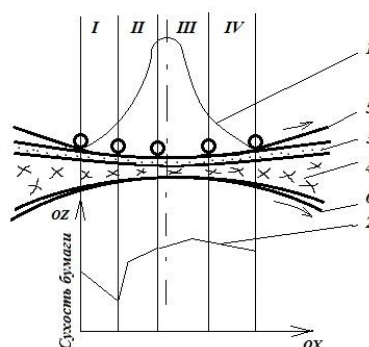


Рис. 1. Фазы удаления воды в прессах и изменение сухости бумаги по ширине зоны контакта валов: 1 – общее давление; 2 – сухость бумаги; 3 – бумага; 4 – сукно; 5 – верхний вал; 6 – нижний вал; I, II, III, IV – фазы обезвоживания

1.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

При технологическом расчете прессовой части определяются среднее давление между валами и сухость бумажного полотна после прессования по линейному давлению в захвате прессов в зависимости от типа пресса, конструкции валов, скорости машин и вида вырабатываемой бумаги.

Исходные данные для расчета:

вид вырабатываемой бумаги;

тип пресса (обычный, отсасывающий, желобчатый);

скорость машин, $\text{м} \cdot \text{мин}^{-1}$;

степень помола волокон в бумаге в градусах по Шору-Риглеру m_p , °Шр.

Расчет производится на компьютере. Для расчета необходимо предварительно определить следующие данные:

сухость бумажного полотна перед прессом C_6 , %;

сухость сукна перед прессом C_c , %;

линейное давление в захвате прессов q_n , кН/м ;

диаметр облицованного вала D , м ;

вакуум в отсасывающей камере отсасывающего вала H , МПа ;

ширину отсасывающей камеры b , мм ;

шаг канавок (желобков) на желобчатом валу t , мм ;

ширину канавок на желобчатом валу b_o , мм ;

массу 1 м^2 бумаги q , г/м^2 ;

коэффициент, зависящий от вида бумаги и типа пресса α_0 ;

коэффициент, зависящий от массы 1 м^2 бумаги и степени помола волокон бумаги m_0 ;

показатель степени, зависящий от степени помола волокон бумаги φ ;

показатель степени, зависящий от типа пресса и степени помола волокон бумаги n ;

показатели степени, зависящие от типа пресса γ , α ;

показатель степени, зависящий от массы 1 м^2 бумаги, степени помола и типа пресса β ;

температурный коэффициент, зависящий от температуры облицовки k_t ;

коэффициент, учитывающий толщину облицовки валов k_δ ;

коэффициент увеличения площадки контакта валов Δb ;

твёрдость облицовки при 20°C в единицах по ТШМ-2Т;

показатель степени отсасывающего пресса, зависящий от типа пресса ν ;

показатель степени желобчатого пресса, зависящий от типа пресса ν .

Результатами расчета являются:

среднее удельное давление между валами p , кН/м^2 ;

сухость бумаги после прессования C_k , %.

Масса 1 м^2 вырабатываемой бумаги определяется требованиями государственных стандартов на бумагу. Данные для расчета прессовых частей приведены в таблицах 1 - 13.

Таблица 1

Рекомендуемые скорости бумагоделательных машин

Ассортиментвырабатываемойбумаги (картона)	Скорость, м/мин
Газетная	до 1400
Писчая и типографская	до 800
Бумага для гофрирования, мешочная, картон тонкий массой до 250 г/м ²	до 750
Бумага оберточная односторонней гладкости	до 1200

Таблица 2

Размеры отсасывающих прессовых валов

Обрезная ширина полотна, мм	1680	2100	2520	4200	6300	6720	8400
Наружный диаметр вала с облицовкой, мм	650	650	750	850	1150	1150	1150
Длина рубашки, мм	2140	2640	3180	4910	7200	7500	9200

Таблица 3

Температурный коэффициент k_t

Температура вала, °С	10	20	30	40	50	60	70	80
Коэффициент k_t	0,75	1,0	1,15	1,35	1,43	1,54	1,54	1,54

Таблица 4

Коэффициент толщины слоя облицовки k_δ

Толщина слоя облицовки, мм	25	24	23	22	21	20	19
Коэффициент k_δ	1,0	0,992	0,985	0,975	0,960	0,945	0,930

Таблица 5

Условие работы желобчатых прессов

Вид вырабатываемой продукции	Рабочее линейное давление между валами, кН/м
Бумага газетная	70-100
Бумага с высоким содержанием древесной массы	35-75
Бумага высококачественная	45-75
Бумага специальная	35-65
Бумага из сульфатной целлюлозы	55-110
Бумага для гофрирования	55-110
Картон для упаковки пищевых продуктов	55-110
Целлюлоза	90-180

Таблица 6

Линейное давление между валами q_n

№ и тип пресса	I		II		III	IV	Горячий пресс	
	Обыч.	Отсас.	Обыч.	Отсас.	Желоб.	Сглаж.	Обыч.	Отсас.
Лин. давление между валами, кН/м	20-25	15-20	25-30	80	120	10-15	70-80	50-80

Таблица 7

Значение коэффициента α_0

Вид бумаги	Масса 1 м ² бумаги	Тип пресса		
		Обычный	Отсасывающий	Желобчатый
Типографическая	63	0,98	0,99	1,04
Этикеточная	100	0,94	0,87	0,85
Литографическая	120	0,97	0,86	0,86
Газетная	46	0,98	0,96	1,04
Газетная для быстроходных машин	46	-	1,08	-
Мешочная	78	0,86	0,73	-
Писчая №1	70	-	0,81	-
Писчая №2	120	1,09	0,75	-
Конденсаторная	11	0,84	0,98	-

Таблица 8

Значение коэффициентов m_0 и β

Масса бумаги, q , г/м ²	Степень помола, °Шр	Тип пресса					
		Обычный		Отсасывающий		Желобчатый	
46-125	≤60	22-28	2	21	0,026	22	0,1
	>60	41-52	2	35,7	0,026	37,8	0,1
125-500	≤60	22-28	2	44,7	-0,13	50	-0,07
	>60	41-52	2	35,7	0,026	37,8	0,1

Таблица 9

Значение коэффициента n

Тип пресса	Обычный	Отсасывающий	Желобчатый	
			≤60°Шр	>60°Шр
n	0,45	0,123	0,47	0,156

Таблица 10

Показатели степени

Тип пресса	γ	ν	α
Обычный (гладкий)	0,25	-	0,0475
Отсасывающий	0,127	0,07	0,055
Желобчатый	0,131	0,07	0,067

Таблица 11

Значение коэффициента увеличения площадки контакта между валами

Сукно массой до 800 г/м ²	Сукно массой более 900 г/м ²
1-2 мм	2-3 мм

Таблица 12

Масса 1 м² основных видов вырабатываемых бумаги и картона

Виды бумаги, картона	Масса 1 м ² , г/м ²
Газетная бумага	46
Типографская бумага	50
Типографская бумага №1	70
Основа для пергамента	60
Оберточная бумага	130
Подпергамент	50
Пачечная бумага	160
Тарный картон	200
Картон	370
Сульфатная целлюлоза	100-200

Таблица 13

Показатель степени φ

Степень помола волокон в бумаге	φ
$m_p \leq 60^\circ \text{Шр}$	0.145
$m_p > 60^\circ \text{Шр}$	0.272

1.2. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Среднее удельное давление между валами

$$p = \frac{21,74 \cdot q_n}{D^{0.4} \cdot (k_t T)^{0.275} \cdot q_n^{0.263} \cdot k_\delta + \Delta b}, \quad \text{кН/м.} \quad (1)$$

Сухоxть бумаги после прессования:

для обычного пресса

$$C_k = \frac{\alpha_0 \cdot m_0 \cdot p^n \cdot C_{\delta}^{\gamma}}{V^{\alpha} \cdot m_p^{\varphi}} \cdot \left(\frac{0,95 + 0,22 \cdot 10^{-4}}{C_c^2} \right) \cdot (1,0 - 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot q^2), \%, \quad (2)$$

для отсасывающего пресса

$$C_k = \frac{\alpha_0 \cdot m_0 \cdot p^n \cdot C_{\delta}^{\gamma} \cdot C_c^{\nu} \cdot H^{0,023} \cdot B^{0,047} \cdot q^{\beta}}{V^{\alpha} \cdot m_p^{\varphi}}, \%, \quad (3)$$

для пресса с желобчатым валом

$$C_k = \frac{\alpha_0 \cdot m_0 \cdot p^n \cdot C_{\delta}^{\gamma} \cdot C_c^{\nu} \cdot q^{\beta}}{V^{\alpha} \cdot m_p^{\varphi} \cdot t^{0,038} \cdot B^{0,063}}, \%. \quad (4)$$

1.3. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Задача. Определить среднее удельное давление между валами p и сухость бумажного полотна C_k второй и третьей зоны прессования бумагоделательной машины для выработки газетной бумаги со скоростью машины 1050 м/мин. Степень помола волокна 74 °Шр. Вторая зона прессования – отсасывающий пресс, третья зона прессования – пресс с желобчатым валом. Масса сукна до 800 г/м². Способы определения исходных данных приведены в таблице 14.

Таблица 14

Исходные данные для расчета обезвоживания в отсасывающем (зона 2) и желобчатом (зона 3) прессах

Наименование и единицы измерения величин	Обозначение	Величина		Способ определения
		Отсас. пресс	Желоб. пресс	
1. Коэффициент, зависящий от вида и типа пресса	α_0	1,08	1,04	Таблица 7
2. Коэффициент, зависящий от массы 1 м ² бумаги и степени помола волокон в бумаге	m_0	35,7	37,8	Таблица 8
3. Показатель степени, зависящий от типа прессов и степени помола волокон в бумаге	n	0,123	0,156	Таблица 9
4. Сухость бумаги перед прессом, %	C_b	34	-	Из расчета C_k предыдущего пресса

5. Сухость сукна перед прессом, %	C_c	60	-	Рекомендуется 50-60
6. Скорость машин, м/мин	V	-	1050	Исходные данные
7. Степень помола волокон в бумаге, °Шр	m_p	-	74	Исходные данные
8. Масса 1 м ² бумаги, г/м ²	q	-	46	Таблица 12
9. Показатель степени, зависящий от степени помола волокон в бумаге	φ	0,272	-	Таблица 13
10. Показатель степени, зависящий от типа прессов	γ	0,127	0,131	Таблица 10
11. Показатель степени, зависящий от типа прессов	α	0,055	0,067	Таблица 10
12. Показатель степени, зависящий от массы 1 м ² бумаги, степени помола и типа пресса	β	0,026	0,1	Таблица 8
13. Температурный коэффициент, зависящий от температуры облицовки вала	k_t	1,0	1,0	Рекомендации [1] и таблица 3
14. Коэффициент увеличения площади контакта вала	Δb	1,0	1,0	Таблица 11
15. Коэффициент, учитывающий толщину облицовки валов	k_δ	1,0	1,0	Рекомендации [1] и таблица 4
16. Линейное давление в захвате прессов, кН/м	q_n	90	120	Рекомендации фирмы
17. Диаметр вала, мм	D	1290	825	Рекомендации фирмы
18. Твердость облицовки при 20 °С по ТМШ-2	T	30	30	Рекомендуется 15-40
19. Шаг канавок (желобков) на желобчатом валу, мм	t	-	3	Рекомендуются оптимальные
20. Ширина канавок (желобков) на желобчатом валу, мм	b_o	-	0,5	Рекомендации заводов
21. Показатель степени, зависящий от вида прессов	ν	0,07	0,07	Таблица 10
22. Вакуум в отсасывающей камере отсасывающего вала, МПа	H	0,079	-	Рекомендуется 600-650
23. Ширина отсасывающей камеры, мм	B	200	-	Рекомендуется 180-230

Расчеты, выполненные по формулам (1), (2) и (4), по исходным данным, приведенным в таблице 14, показывают, что сухость бумаги после второй зоны прессования составляет $C_k = 38,2\%$, после третьей зоны прессования составляет – $C_k = 42,05\%$, удельное давление между валами составляет соответственно $p = 12,6 \text{ кН/м}^2$ и $p = 36,2 \text{ кН/м}^2$.

2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РАСЧЕТЫ

2.1 РАСЧЕТ ОТСАСЫВАЮЩЕГО ВАЛА

Отсасывающий вал трехвального пресса испытывает наиболее нагруженное состояние. Схема, действующих на отсасывающий вал, сил показана на рис.2, а. Основная задача расчета заключается в проверке рубашки вала и сердечника на прочность, жесткость, а также определение долговечности подшипников качения. Исходные данные для расчета приведены в таблице 15.

При расчете на прочность и жесткость рубашки и сердечника вала принимаются некоторые допущения, не оказывающие заметного влияния на результаты расчетов:

суммарная нагрузка на рубашку вала принимается равномерно распределенной, действующей по длине линии контакта валов;

влиянием крутящего момента пренебрегаем ввиду незначительной его величины по отношению к изгибающему моменту;
массы камеры и цапф, как не влияющие на прогиб рубашки, в расчет не принимаем;

жесткость рубашки и цапф принимаем одинаковой ввиду незначительного влияния их разности на расчет;

рубашку рассматриваем как свободно лежащую балку на двух опорах;

нагрузкой, создаваемой поперечными уплотнениями, пренебрегаем ввиду незначительной величины ее по сравнению с усилием от продольных уплотнений.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1. Нагрузки, действующие на вал

1.1 Нагрузка от собственного веса вала

$$G = m \cdot g, \quad \text{Н.}$$

1.2 Нагрузка от прижима отсасывающего вала

$$F_{\text{пр}} = q_{\text{пр.отс}} \cdot b, \quad \text{Н.}$$

1.3 Нагрузка от натяжения сетки

$$F_{\text{сет}} = 2 \cdot q_{\text{сет}} \cdot b_{\text{сет}} \cdot \sin\left(\frac{\alpha_{\text{сет}}}{2}\right), \quad \text{Н.}$$

1.4 Суммарная нагрузка на отсасывающий вал от собственного веса и от прижима

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\text{пр}}^2 + G^2 + 2 \cdot F_{\text{пр}} \cdot G \cdot \cos\alpha}, \quad \text{Н.}$$

1.5 Суммарная нагрузка на отсасывающий вал

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\Sigma}^2 + F_{\text{сег}}^2 + 2 \cdot F_{\Sigma} \cdot F_{\text{сег}} \cdot \cos \beta}, \quad \text{Н.}$$

1.6 Суммарная распределенная нагрузка на отсасывающий вал

$$q_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{b}, \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

2. Расчет рубашки на прочность

2.1 Определение реакций опор

$$R_{a,b} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b}{2}, \quad \text{Н.}$$

2.2 Максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b}{4} \left(l - \frac{b}{2} \right), \quad \text{Нм.}$$

2.3 Поперечная (перерезывающая) сила в середине пролета

$$Q_{\max} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b}{2}, \quad \text{Н.}$$

2.4 Определение параметров сечения рубашки вала без учета перфорации

Средний диаметр сечения

$$d_{\text{ср}} = \frac{(d_{\text{нар}} + d_{\text{вн}})}{2}, \quad \text{м.}$$

Толщина стенки трубчатого сечения вала

$$\delta = \frac{(d_{\text{нар}} - d_{\text{вн}})}{2}, \quad \text{м.}$$

Момент сопротивления сечения

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{ср}}^2 \cdot \delta, \quad \text{м}^3.$$

Площадь поперечного сечения

$$S = \pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot \delta, \quad \text{м}^2.$$

Приведенный момент инерции рубашки вала

$$I_{\text{пр}} = \frac{\pi}{8} \cdot d_{\text{ср}}^4 \cdot \delta, \quad \text{м}^4.$$

2.5 Определение параметров сечения рубашки вала с учетом перфорации (рис.3)

Количество отверстий в сечении

$$n = \frac{\pi \cdot d_{\text{нар}}}{t_1}.$$

Момент сопротивления сечения с учетом перфорации

$$W_{\text{п}} = W \cdot \frac{(\pi \cdot d_{\text{ср}} - n \cdot d_0)}{\pi \cdot d_{\text{ср}}}, \quad \text{м}^3.$$

Площадь поперечного сечения с учетом перфорации

$$S_{\Pi} = S \cdot \frac{(\pi \cdot d_{cp} - n \cdot d_0)}{\pi \cdot d_{cp}}, \quad \text{м}^2.$$

2.6. Определение максимальных изгибных и касательных напряжений в рубашке вала

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{k \cdot W_{\Pi}}, \quad \text{Па}, \quad \tau_{max} = \frac{Q_{max}}{k \cdot S_{\Pi}}, \quad \text{Па},$$

где k – коэффициент ослабления ломаного сечения;

$$k = \frac{2 \cdot (t_2 - d_0)}{(t_1 - d_0)}.$$

2.7 Коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{k \cdot \sigma_{max}}, \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{k \cdot \tau_{max}}.$$

где $\sigma_{-1} = 240$ МПа, $\tau_{-1} = 140$ МПа – пределы выносливости материала рубашки.

k – коэффициент ослабления сечения рубашки вала перфорацией [2].

2.8 Определение приведенного коэффициента запаса прочности

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq [S],$$

где $[S] = 1,5 \dots 2,5$ – допустимое значение коэффициента запаса прочности.

2.8 Определение максимального прогиба вала в середине пролета

$$y_{max} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b^3 \cdot (12 \cdot l - 7 \cdot b)}{384 \cdot E_{ст} \cdot I_{пр}}, \quad \text{м}.$$

2.9 Определение относительного прогиба вала

$$\varepsilon = \frac{y_{max}}{b} \leq [\varepsilon], \quad \text{м}.$$

Допустимая величина прогиба $[\varepsilon] = \frac{1}{6000} \dots \frac{1}{7000}$ м.

3. Расчет приводной цапфы вала на прочность

3.1 Определение коэффициентов запаса прочности в опасных сечениях приводной цапфы вала

Определение момента сопротивления и площади поперечного сечения опасных сечений приводной цапфы вала

$$W_i = \frac{\pi}{32} \cdot d_i^3, \quad \text{м}^3; \quad S_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2, \quad \text{м}^2,$$

где d_i – диаметр сердечника в i -ом сечении, м.

Определение изгибающих моментов в сечениях вала

$$M_i = R_a \cdot l_i, \quad \text{Нм},$$

где l_i – расстояние от опоры до i -го сечения, м;

R_a – нагрузка на подшипниковую опору, Н.

Нормальные изгибные и касательные напряжения в опасных сечениях цапфы вала

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W_i}, \text{ Па}; \quad \tau_i = \frac{R_a}{S_i}, \text{ Па.}$$

3.2 Определение коэффициентов снижения предела выносливости

$$K_{\sigma D} = \frac{\left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1\right)}{K_v}, \quad K_{\tau D} = \frac{\left(\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1\right)}{K_v},$$

где K_{σ}, K_{τ} – эффективные коэффициенты концентрации напряжений;

$K_{d\sigma}, K_{d\tau}$ – коэффициенты влияния абсолютных размеров поперечного сечения;

$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$ – коэффициенты влияния качества поверхности;

K_v – коэффициент влияния поверхностного уплотнения [3].

3.3 Коэффициент влияния асимметрии цикла для сечения приводной цапфы

$$\psi_{\tau D} = \frac{\psi_{\tau}}{K_{\tau D}};$$

где ψ_{τ} – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла напряжений [3].

3.4 Пределы выносливости материала приводной цапфы в рассматриваемом сечении

$$\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D}}, \quad \tau_{-1D} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D}},$$

где $\sigma_{-1} = 240$ МПа, $\tau_{-1} = 140$ МПа – пределы выносливости материала цапфы.

3.5 Коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_i}, \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{-1D}}{\frac{\tau_i}{2}(1 + \psi_{\tau D})}.$$

3.6 Определение приведенного коэффициента запаса прочности

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq [S],$$

где $[S] = 1,5 \dots 2,5$ – допустимое значение коэффициента запаса прочности.

2.2 РАСЧЕТ ГРАНИТНОГО ВАЛА

Гранитный вал трехвального пресса испытывает наиболее нагруженное состояние. Схема, действующих на гранитный вал, сил показана на рис.2, б. Основная задача расчета заключается в проверке рубашки вала и сердечника на прочность, жесткость, а также определение долговечности

подшипников качения. Исходные данные для расчета приведены в таблице 16.

При расчете на прочность и жесткость рубашки и сердечника вала принимаются некоторые допущения, не оказывающие заметного влияния на результаты расчетов:

суммарная нагрузка на рубашку вала принимается равномерно распределенной, действующей по длине линии контакта валов;

жесткость металлической части рубашки и сердечника принимаем одинаковой ввиду незначительного влияния их разности на расчет;

рубашка и сердечник, рассматриваются как свободно лежащие балки на двух опорах.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1. Нагрузки, действующие на вал

1.1 Нагрузка от собственного веса вала

$$G = m \cdot g, \quad \text{Н.}$$

1.2 Нагрузка от прижима отсасывающего вала

$$F_{\text{отс}} = q_{\text{пр.отс}} \cdot b, \quad \text{Н.}$$

1.3 Нагрузка от прижима желобчатого вала «Вента-Нип»

$$F_{\text{жел}} = q_{\text{пр.жел}} \cdot b, \quad \text{Н.}$$

1.4 Суммарная нагрузка от прижимных валов

$$F_{\text{пр}} = \sqrt{F_{\text{отс}}^2 + F_{\text{жел}}^2 + 2 \cdot F_{\text{отс}} \cdot F_{\text{жел}} \cdot \cos \alpha}, \quad \text{Н.}$$

1.5 Суммарная нагрузка на гранитный вал

$$F_{\Sigma} = \sqrt{F_{\text{пр}}^2 + G^2 + 2 \cdot F_{\text{пр}} \cdot G \cdot \cos \beta}, \quad \text{Н.}$$

1.6 Суммарная распределенная нагрузка на гранитный вал

$$q_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{b}, \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

2. Расчет рубашки и сердечника на прочность

2.1 Определение реакций опор

$$R_{a,b} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b}{2}, \quad \text{Н.}$$

2.2 Максимальный изгибающий момент

$$M_{\text{max}} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b}{4} \left(l - \frac{b}{2} \right), \quad \text{Нм.}$$

2.3 Определение момента инерции вала, приведенного к модулю упругости гранита $E_{\text{гр}}$

$$I_{\text{пр}} = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{гр}}} \cdot \left(\frac{d_c}{2} \right)^4 + \frac{E_{\text{ц}}}{E_{\text{гр}}} \cdot \left(\left(\frac{d_{\text{ц}}}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_c}{2} \right)^4 \right) + \left(\left(\frac{D}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_{\text{ц}}}{2} \right)^4 \right) \right), \quad \text{м}^4.$$

2.4 Максимальные напряжения изгиба в гранитном блоке (без учета усилия поджатия гранитного блока)

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{пр}}} \cdot \left(\frac{D}{2} \right), \quad \text{Па.}$$

2.5 Определение напряжения сжатия гранитного блока

$$\sigma_{\text{сж}} = 1,4 \cdot \sigma_{\text{изг}}, \quad \text{Па.}$$

2.6 Определение осевого усилия прижима шайб

$$T = \frac{\pi \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot (D^2 - d_{\text{ц}}^2)}{4}, \quad \text{Н.}$$

2.7 Удельное давление шайб на гранит

$$p_{\text{max,min}} = \frac{4 \cdot T}{\pi \cdot (D_{\text{ш}}^2 - d_{\text{ш}}^2)} \pm \frac{8 \cdot D_{\text{ш}} \cdot F_{\Sigma} \cdot (l - b)}{\pi \cdot (D_{\text{ш}}^4 - d_{\text{ш}}^4)}, \quad \text{Па.}$$

Необходимо выполнение условия $p_{\text{max}} \leq [p], p_{\text{min}} > 0$,
где $[p] = 10-13$ МПа – допустимое давление шайб на гранит.

2.8 Определение силы трения между шайбой и гранитным блоком

$$F_{\text{тр}} = 2 \cdot f \cdot T, \quad \text{Н.}$$

Необходимо выполнение условия $F_{\text{тр}} > F_{\Sigma}$.

2.9 Максимальное напряжение сжатия в гранитном блоке

$$\sigma_{\text{сж.мах}} = \sigma_{\text{изг}} + \sigma_{\text{сж}} \leq [\sigma_{\text{сж}}], \quad \text{Па,}$$

где $[\sigma_{\text{сж}}] = 10-13$ МПа – допускаемое напряжение гранита на сжатие.

2.10 Максимальное нормальное напряжение в сердечнике от изгиба и растяжения

$$\sigma_{\text{ирс}} = \frac{M_{\text{max}}}{I_{\text{пр}}} \cdot \frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{гр}}} \cdot \frac{d_c}{2} + \frac{4 \cdot T}{\pi \cdot d_c^2} \leq [\sigma], \quad \text{Па,}$$

где $[\sigma] = 30$ МПа - допускаемое напряжение, принимаемое из условия предотвращения для стали 45.

2.11 Необходимое повышение температуры сердечника над температурой окружающей среды, в случае создания усилия поджатия гранитного блока

$$t = \frac{T \cdot \left(1 + \frac{E_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}}}{E_{\text{гр}} \cdot F_{\text{гр}}} \right)}{\alpha \cdot E_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}}}, \quad \text{град,}$$

где $F_{\text{ст}}$ – площадь сечения стального сердечника между шайбами, м²;
 $F_{\text{гр}}$ – площадь сечения гранитного блока, м².

2.12 Определение коэффициентов запаса прочности сердечника в опасных сечениях вала

Определение момента сопротивления и площади поперечного сечения опасных сечений вала

$$W_i = \frac{\pi}{32} \cdot d_i^3, \text{ м}^3; \quad S_i = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2, \text{ м}^2,$$

где d_i – диаметр сердечника в i -ом сечении, м.

Определение изгибающих моментов в сечениях вала

$$M_i = R_a \cdot l_i, \quad \text{Нм},$$

где l_i – расстояние от опоры до i -го сечения, м;

R_a – нагрузка на подшипниковую опору, Н.

Нормальные изгибные и касательные напряжения в сечениях сердечника вала

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W_i}, \quad \text{Па}; \quad \tau_i = \frac{R_a}{S_i}, \quad \text{Па}.$$

2.13 Определение коэффициентов снижения предела выносливости

$$K_{\sigma D} = \frac{\left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right)}{K_v}, \quad K_{\tau D} = \frac{\left(\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} + \frac{1}{K_{F\tau}} - 1 \right)}{K_v},$$

где K_{σ}, K_{τ} – эффективные коэффициенты концентрации напряжений;

$K_{d\sigma}, K_{d\tau}$ – коэффициенты влияния абсолютных размеров поперечного сечения;

$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$ – коэффициенты влияния качества поверхности;

K_v – коэффициент влияния поверхностного уплотнения [3].

2.14 Коэффициент влияния асимметрии цикла для сечения сердечника

$$\psi_{\tau D} = \frac{\psi_{\tau}}{K_{\tau D}};$$

где ψ_{τ} – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла напряжений [3].

2.14 Пределы выносливости материала сердечника в рассматриваемом сечении

$$\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D}}, \quad \tau_{-1D} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D}},$$

где $\sigma_{-1} = 240$ МПа, $\tau_{-1} = 140$ Мпа – пределы выносливости материала сердечника.

2.15 Коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1D}}{\sigma_i}, \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{-1D}}{\frac{\tau_i}{2}(1 + \psi_{\tau D})}.$$

2.16 Определение приведенного коэффициента запаса прочности

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq [S],$$

где $[S] = 1,5 \dots 2,5$ – допустимое значение коэффициента запаса прочности.

2.17 Определение максимального прогиба вала в середине пролета

$$y_{max} = \frac{q_{\Sigma} \cdot b^3 \cdot (12 \cdot l - 7 \cdot b)}{384 \cdot E_{ст} \cdot I_{пр}}, \quad \text{м.}$$

2.18 Определение относительного прогиба вала

$$\varepsilon = \frac{y_{max}}{b} \leq [\varepsilon], \quad \text{м.}$$

Допустимая величина прогиба $[\varepsilon] = \frac{1}{12000} \dots \frac{1}{14000}$ м.

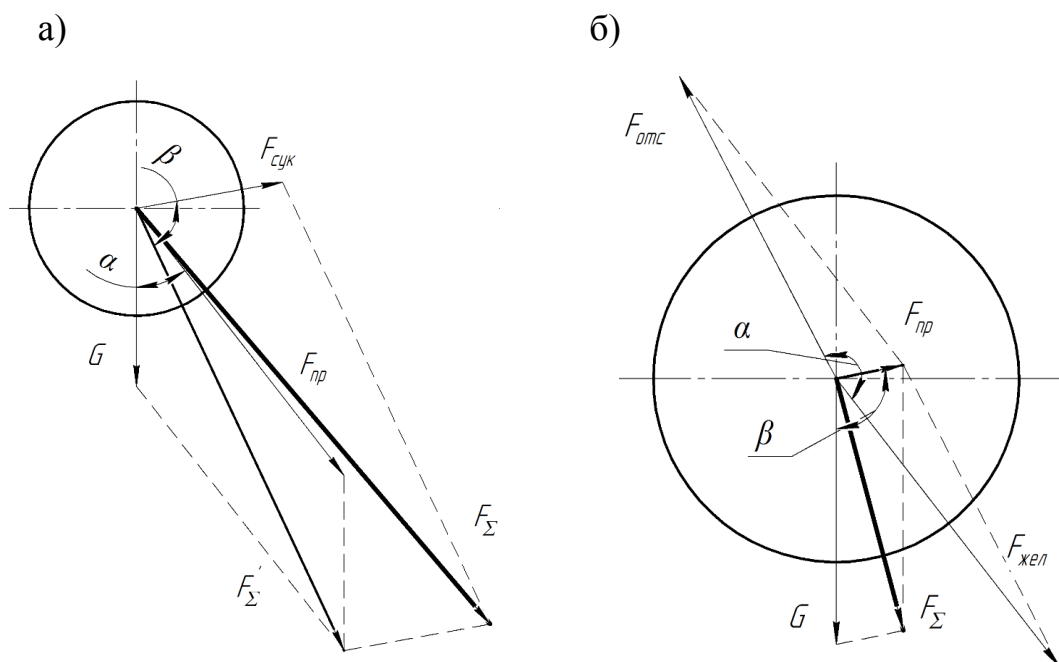


Рис.2. Схемы действующих на валы сил:

а) отсасывающий; б) гранитный.

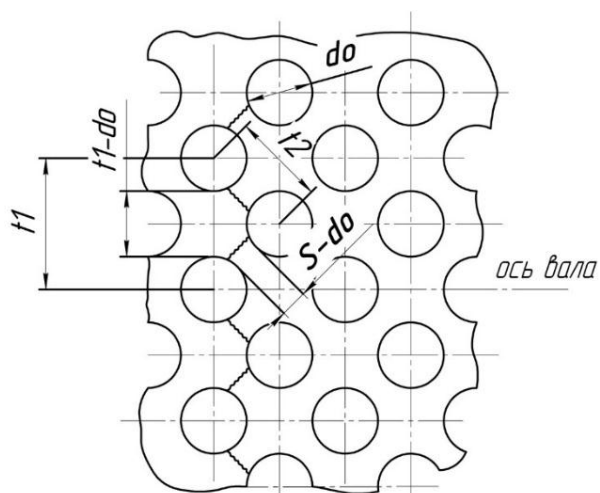


Рис.3. Перфорация отсасывающего вала

Таблица 15

Наименования исходных данных для расчета отсасывающего вала

Наименование	Обозначение
Наружный диаметр вала, м	D
Наружный диаметр рубашки, м	$d_{нар}$
Внутренний диаметр рубашки вала, м	$d_{вн}$
Расстояние между опорами вала, м	l
Длина рубашки, м	b
Линейное давление между валами, кН/м	$q_{пр.омс}$
Масса вала, кг	m
Удельное натяжение сетки, кН/м	$q_{сет}$
Ширина сетки, м	$b_{сет}$
Угол охвата вала сеткой, град	$\alpha_{сет}$
Шаг отверстий в сечении перпендикулярном оси вала, м (рисунок 4)	t_1
Шаг отверстий в ломанном сечении, м (рисунок 4)	t_2
Диаметр отверстий перфорации, м	d_0
Модуль упругости материала рубашки, МПа	$E_{см}$
Пределы выносливости материала рубашки, МПа	σ_{-1}, τ_{-1}
Пределы выносливости материала цапфы, МПа	σ_{-1}, τ_{-1}
Допустимое значение коэффициента запаса прочности	$[S]$
Допустимая величина прогиба, м	$[\epsilon]$
Диаметры опасных сечений сердечника вала, м	d_i
Расстояния от опоры вала до опасных сечений сердечника, м	l_i
Эффективные коэффициенты концентрации напряжений	K_σ, K_τ
Коэффициенты влияния абсолютных размеров поперечного сечения	$K_{d\sigma}, K_{d\tau}$
Коэффициенты влияния качества поверхности	$K_{F\sigma}, K_{F\tau}$
Коэффициент влияния поверхностного уплотнения	K_v
Коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла напряжений	$\psi_{\tau D}$

Таблица 16

Наименования исходных данных для расчета гранитного вала

Наименование	Обозначение
Наружный диаметр вала, м	D
Внутренний диаметр рубашки вала, м	d_u
Диаметр сердечника вала, м	d_c
Расстояние между опорами вала, м	l
Длина рубашки, м	b

Линейное давление между гранитным и отсасывающим валом, кН/м	$q_{отс}$
Линейное давление между гранитным и желобчатым валом, кН/м	$q_{жел}$
Масса вала, кг	m
Диаметры опасных сечений сердечника вала, м	d_i
Расстояния от опоры вала до опасных сечений сердечника, м	l_i
Допустимая величина прогиба, м	$[ε]$
Модуль упругости материала сердечника, МПа	$E_{см}$
Модуль упругости гранита, МПа	$E_{зр}$
Модуль упругости цементной заливки, МПа	$E_{ц}$
Наружный диаметр шайбы, м	$D_{ш}$
Внутренний диаметр шайбы, м	$d_{ш}$
Коэффициент трения по стали	f
Температурный коэффициент линейного расширения стали	$α$
Допустимое давление шайб на гранит, МПа	$[p]$
Пределы прочности гранита на растяжение, МПа	$σ_p$
Пределы прочности гранита на сжатие, МПа	$σ_{сж}$
Пределы прочности гранита на изгиб, МПа	$σ_{из}$
Допускаемое напряжение гранита на сжатие, МПа	$[σ_{сж}]$
Пределы выносливости материала сердечника, МПа	$σ_{-1}, τ_{-1}$
Допускаемое напряжение, принимаемое из условия предотвращения для стали 45, МПа	$[σ]$
Площадь сечения сердечника между шайбами, м ²	$F_{см}$
Площадь сечения гранитного блока, м ²	$F_{зр}$
Эффективные коэффициенты концентрации напряжений	$K_σ, K_τ$
Коэффициенты влияния абсолютных размеров поперечного сечения	$K_{dσ}, K_{dτ}$
Коэффициенты влияния качества поверхности	$K_{Fσ}, K_{Fτ}$
Коэффициент влияния поверхностного уплотнения	K_v
Коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла напряжений	$ψ_{τD}$
Допустимое значение коэффициента запаса прочности	$[S]$

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Н.Е. Прессование бумажного полотна / Н.Е. Новиков. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 240 с.
2. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2-х томах. Т. 2. Бумагоделательные машины / В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова и др. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
3. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с.
4. Витвинин А.М., Куцубина Н.В. Расчет прессовой части бумагоделательных машин / Екатеринбург, 1998. – 23 с.